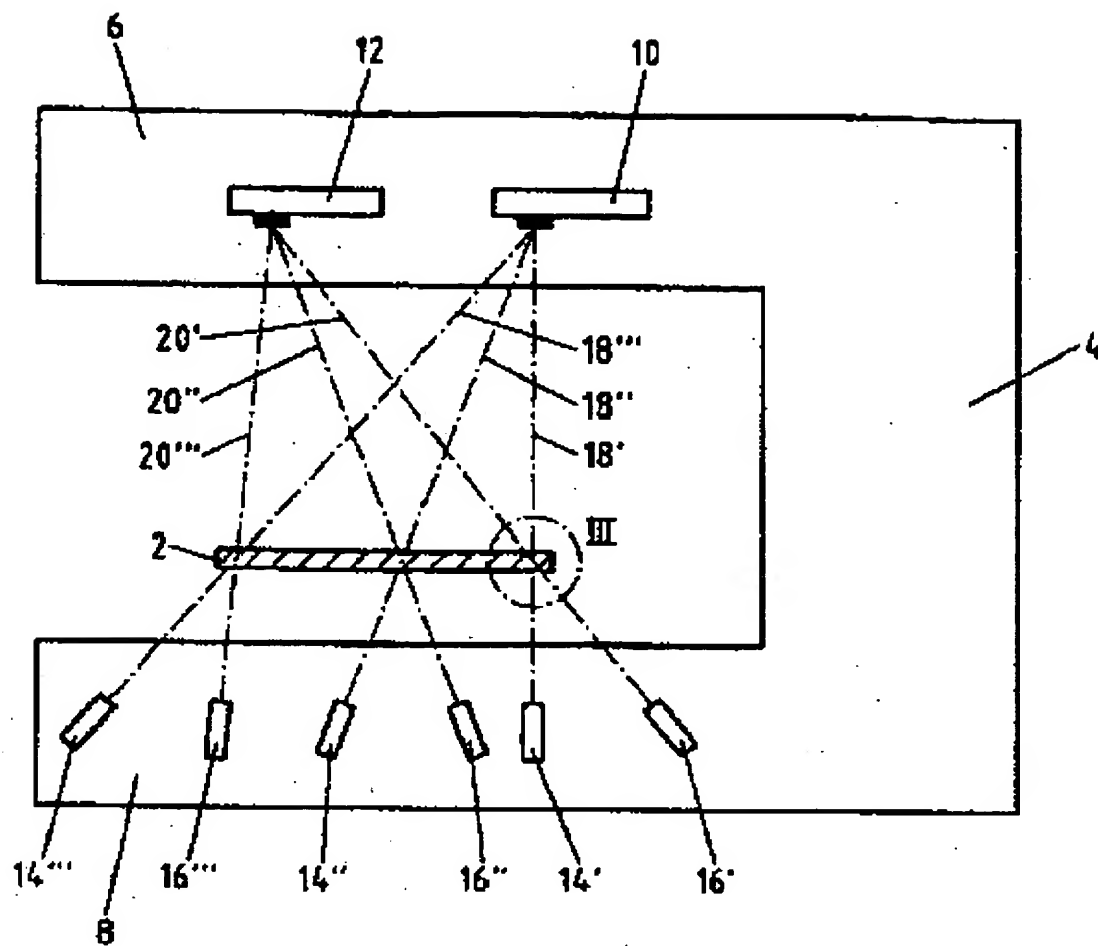
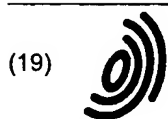


AN: PAT 2001-093659
TI: Determining flatness of material strip involves using radiation sources and sensors to detect measurement values from measurement points at intervals in direction transverse to strip length
PN: **EP1055905-A2**
PD: 29.11.2000
AB: NOVELTY - The method involves using at least two radiation sources (10,12) and a number of detectors (14',16,...) to detect measurement values from a number of measurement points arranged at intervals in a direction transverse to the moving strip's (2) longitudinal direction. Measurement points are detected by at least two detectors that each detect radiation at different angles and evaluated to determine the contours of the strip. DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for an arrangement for determining the flatness of a material strip and for a use of a device for determining the flatness of a material strip.; USE - For determining the flatness of a material strip. ADVANTAGE - The elongation of the strip can be determined from values for the contour of the strip. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic representation of an arrangement for determining the flatness of a material strip radiation sources 10,12 detectors 14',16',... strip 2 .
PA: (EMSM-) EMS MESSSYSTEME GMBH; (IMSM-) IMS-MESSSYSTEME GMBH;
IN: FLORMANN P;
FA: **EP1055905-A2** 29.11.2000; ES2223334-T3 01.03.2005; DE19947572-A1 21.12.2000; JP2001004350-A 12.01.2001; US6480802-B1 12.11.2002; DE19947572-C2 27.02.2003; JP3486152-B2 13.01.2004; **EP1055905-B1** 30.06.2004; DE50006932-G 05.08.2004;
CO: AL; AT; BE; CH; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP; LI; LT; LU; LV; MC; MK; NL; PT; RO; SE; SI; US;
DR: AL; AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LI; LT; LU; LV; MC; MK; NL; PT; RO; SE; SI;
IC: B21B-038/02; F02C-007/08; G01B-011/24; G01B-011/30; G01B-015/04; G01B-015/08; G01B-021/30; G05D-005/02;
MC: S02-A03B3; S02-A03B5;
DC: P51; Q52; S02;
FN: 2001093659.gif
PR: DE1024423 28.05.1999; DE1047572 01.10.1999;
FP: 29.11.2000
UP: 21.03.2005

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 055 905 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
29.11.2000 Patentblatt 2000/48

(51) Int. Cl.⁷: **G01B 11/24**, G01B 11/30

(21) Anmeldenummer: 00107743.7

(22) Anmeldetag: 11.04.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: Flormann, Paul
42579 Heiligenhaus (DE)

(74) Vertreter: Rox, Thomas Dr.
Cohausz & Florack
Patent- und Rechtsanwälte
Kanzlerstrasse 8a
40472 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: 28.05.1999 DE 19924423
01.10.1999 DE 19947572

(71) Anmelder: IMS-Messsysteme GmbH
42579 Heiligenhaus (DE)

(54) Verfahren zur Bestimmung der Planheit eines Materialbandes

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Planheit eines Materialbandes sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Das technische Problem besteht darin, die Bandlänge aus den Werten der Bandkontur zu berechnen und damit die Planheit zu bestimmen. Dieses Problem ist erfindungsgemäß durch ein Verfahren gelöst, bei dem aus den Änderungen der Steigungswerte, die an einer Mehrzahl von Meßpunkten gemessen werden, die Wellenlänge und die Phase dieser Änderungen berechnet

werden. Daraus wird die Lage von mindestens einem Extremum berechnet, in dem die ermittelten Steigungswerte nur eine Querkomponente besitzen. Durch Aufsummieren der Steigungen wird eine Kontur berechnet, aus der die Amplitude berechnet wird. Aus der Wellenlänge und der Amplitude wird dann die Bandlänge als Maß für die Planheit des Materialbandes bestimmt. Ebenso betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

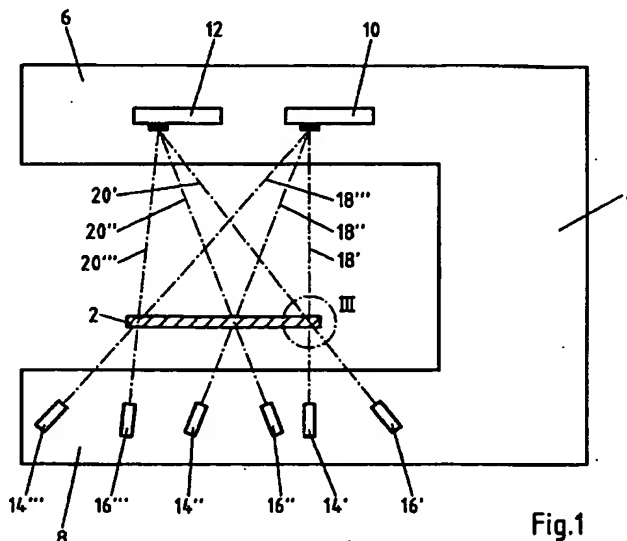


Fig.1

EP 1 055 905 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Planheit eines Materialbandes sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Beim Kalt- und Warmwalzen von Metallblechen treten ungewünschte Unebenheiten des in Form eines Materialbandes erzeugten Metallbleches auf, die sich in der Laufrichtung bzw. Längsrichtung sowie quer dazu erstrecken. Diese Unebenheiten führen zu unterschiedlich starken Durchbiegungen des Materialbandes senkrecht zur Oberfläche, wodurch die Planheit gestört wird und für verschiedene Längsabschnitte des Materialbandes, die quer zur Längsrichtung angeordnet sind, unterschiedliche Bandlängungen auftreten. Es besteht daher die Notwendigkeit, beim Walzen eines Metallbleches die Planheit des erzeugten Materialbandes zu überwachen und bei Abweichungen von der Planheit die Bedingungen des Walzvorganges zu beeinflussen.

[0003] Der Wert der Bandlängung wird in Einheiten von I-Units gemessen, wobei eine I-Unit eine relative Längenänderung von 10^{-5} bedeutet, also bspw. 10 μm pro Meter.

[0004] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur Messung der Planheit bekannt.

[0005] Ein erstes Verfahren besteht in der Abtastung der Oberfläche des Materialbandes mit Hilfe eines gepulsten Laserstrahles, mit dem ein Raster von Entfernungspunkten von der Laserlichtquelle aufgenommen wird. Daraus wird auf die Durchbiegung des Materialbandes und somit auf die Planheit geschlossen.

[0006] Ein zweites Verfahren besteht darin, daß mit Hilfe einer optischen Abbildungsvorrichtung ein geometrisches Muster wie bspw. ein Streifenmuster auf die Oberfläche projiziert wird, das mit Hilfe einer Kamera überwacht wird. Durch Oberflächendurchbiegungen wird das Muster verzerrt, wobei die Größe der Verzerrung ein Maß für die Planheit darstellt.

[0007] Die beiden zuvor beschriebenen Verfahren arbeiten berührungslos, weshalb sie bevorzugt bei Warmwalzverfahren angewendet werden. Jedoch führen die Umweltbedingungen insbesondere beim Warmwalzen zu einer häufigen Wartung der optischen Komponenten. Außerdem ist in beiden Verfahren die Anordnung einer Meßvorrichtung erforderlich, die den üblicherweise verwendeten Vorrichtungen zur Messung von Banddickenprofilen hinzugefügt werden muß. Diese arbeiten in der Regel mit hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung.

[0008] Ein drittes Verfahren verwendet eine Mehrzahl nebeneinander angeordneter und mit dem Materialband abrollender Druckmesser, die mit dem Materialband in Berührung stehen. Unterschiedliche Durchbiegungen führen zu unterschiedlichen Drücken, so daß die gemessenen Drücke als Maß der Planheit ausgewertet werden können. Der Nachteil dieses Verfahrens besteht in dem mechanischen Kontakt der ein-

zelnen Druckmesser mit dem Materialband, so daß das Verfahren insbesondere bei Warmwalzverfahren wegen der hohen Temperaturen nicht angewendet werden kann. Aber auch beim Kaltwalzen weist das Verfahren den Nachteil auf, daß der mechanische Kontakt zu einem Verschleiß führt.

[0009] Schließlich sind Verfahren und Vorrichtungen bekannt, die mit Hilfe von hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung, wie bspw. Röntgen- oder Gammastrahlung, Banddickenguerprofile sowie die Bandkontur, also die Form und Lage des Materialbandes über der Breite, messen. Eine Bestimmung der Planheit des Materialbandes ist dagegen mit diesem Meßverfahren bisher nicht möglich gewesen.

[0010] Es wird hervorgehoben, daß außer bei Metallblechen auch bei anderen Materialien Unebenheiten in Materialbändern auftreten können, die ebenfalls mit Hilfe des nachfolgend beschriebenen Verfahrens gemessen werden können. Daher ist im folgenden stets allgemein von Materialband anstelle von Metallband die Rede.

[0011] Der Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Planheit eines Materialbandes anzugeben, bei denen die Bandlängung aus den Werten der Bandkontur berechnet werden.

[0012] Das zuvor aufgezeigte technische Problem wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst, bei dem zunächst mit Hilfe von mindestens zwei Strahlungsquellen und einer Mehrzahl von Detektoren an einer Mehrzahl von Meßpunkten Meßwerte aufgenommen werden. Dabei sind die Meßpunkte so angeordnet, daß sie quer zur Längsrichtung im Material des Bandes beabstandet zueinander liegen.

[0013] Die Meßpunkte werden einzeln von mindestens zwei Detektoren erfaßt, die jeweils Strahlung unter verschiedenen Raumwinkeln detektieren. Also ist jeweils ein Detektor auf eine der mindestens zwei Strahlungsquellen ausgerichtet und der andere Detektor auf die andere Strahlungsquelle. Als Meßpunkte sind daher diejenigen Volumenbereiche des Materialbandes zu verstehen, die von der von den Detektoren erfaßten Strahlung durchlaufen werden.

[0014] Weiterhin wird das Materialband relativ zu den Strahlungsquellen und den Detektoren in Längsrichtung bewegt. In vorgegebenen Abständen wird jeweils eine im wesentlichen alle Meßpunkte umfassende Meßwertreihe aufgenommen. Für jeden erfaßten Meßpunkt wird dann die Steigung des Materialbandes aus den Meßwerten der Paare von Detektoren berechnet. Somit ergibt sich ein Gitter von Meßwerten und damit verbundenen Steigungswerten, das sich über einen vorgegebenen Bereich des Materialbandes erstreckt.

[0015] Für aufeinanderfolgende Meßwertreihen werden dann bei bekannter Relativgeschwindigkeit des Materialbandes zu den Strahlungsquellen und Detektoren in Längsrichtung die Wellenlänge und die Phase der

Änderungen der Steigungen berechnet, wobei diese Änderungen die Planheit charakterisieren. Dabei ist unter Wellenlänge der Abstand von jeweils zwei aufeinanderfolgender Bereiche mit gleicher Durchbiegung nach oben oder nach unten zu verstehen.

[0016] Weiterhin wird aus der Wellenlänge und der Phase mindestens ein Extremum berechnet, für das gilt, daß der Betrag der Steigungskomponente in Längsrichtung minimal ist. Damit ist sichergestellt, daß die Steigungswerte im wesentlichen nur eine Querkomponente aufweisen, die die für die Bandlänge verantwortliche Durchbiegung des Materialbandes in Querrichtung charakterisieren.

[0017] Zu jedem Extremum wird eine Extremmeßwertreihe berechnet, die jeweils die zum Extremum nächstliegende Meßwertreihe darstellt, da die Meßwertreihen nicht kontinuierlich, sondern diskret über das Materialband verteilt angeordnet sind. Somit erhält man eine möglichst genaue Annäherung an das Extremum und die Extremmeßwertreihe enthält die für die Bestimmung der Querkontur erforderlichen Informationen.

[0018] Die Querkontur wird durch Aufsummieren der Steigungswerte der Extremmeßwertreihe berechnet und aus der Querkontur wird die Amplitude der Unebenheiten im Extremum für jeden Meßpunkt bestimmt. Aus der Wellenlänge und der Amplitude der Querkontur wird schließlich die Bandlänge berechnet, wobei für jeden Längsabschnitt des Materialbandes, das in Längsrichtung aufeinanderfolgende korrespondierende Meßpunkte enthält, eine Bandlänge berechnet werden kann.

[0019] Erfindungsgemäß ist demnach erkannt worden, daß aufgrund der veränderlichen Absorptionen der Strahlung quer und längs zum Materialband die Unebenheiten im Materialband ermittelt werden können. Weiterhin werden in vorteilhafter Weise die in den jeweiligen Steigungswerten enthaltenen Komponenten in Längsrichtung und quer dazu getrennt voneinander ausgewertet.

[0020] In bevorzugter Weise wird von den Detektoren die durch das Materialband abgeschwächte Intensität der Strahlung gemessen. Dabei ist der Grad der Abschwächung ein Maß für die von der Strahlung durchdrungene Dicke des Materialbandes.

[0021] Weiter ist bevorzugt, daß die Meßpunkte im wesentlichen die gesamte Breite des Materialbandes abdecken. Dadurch wird eine Untersuchung der gesamten Breite des Materialbandes mit einer Meßwertreihe ermöglicht. Eine lineare Hin- und Herbewegung der Strahlungsquellen und der Detektoren quer zur Längsrichtung ist dann nicht erforderlich, jedoch ist die Anzahl der Detektoren relativ groß.

[0022] Die Genauigkeit des Verfahrens kann darüber hinaus gesteigert werden, indem die Detektoren während der Längsbewegung des Materialbandes zusätzlich quer zum Materialband mit einer Amplitude im Bereich des Abstandes zweier Detektoren hin- und

herbewegt werden. Dadurch können auch die Bereiche zwischen jeweils zwei Detektoren erfaßt werden, wodurch sonst nicht erfaßte Bereiche des Materialbandes analysiert werden können.

[0023] Weiterhin können die Meßpunkte in Meßkanäle von jeweils mindestens zwei Meßpunkten zusammengefaßt werden. In bevorzugter Weise umfassen die Meßkanäle jeweils im wesentlichen dieselbe Anzahl von Meßpunkten und für jeden Meßkanal werden die Werte der Steigungen ermittelt. Weiter wird vorzugsweise für jeden Meßkanal separat die Bandlänge berechnet. Dadurch wird die Information von benachbarten Meßpunkten zusammengefaßt, so daß ein verbessertes Signal-zu-Rauschen Verhältnis erzielt wird. Es ist auch möglich, sämtliche Meßpunkte zu einem Meßkanal oder jeweils eine Hälfte der Meßpunkte zu zwei Meßkanälen zusammenzufassen. Die Größe der Meßkanäle kann in Abhängigkeit von der Qualität der Meßwerte eingestellt werden.

[0024] In weiter bevorzugter Weise werden die Wellenlänge und die Phase der Unebenheiten mit Hilfe einer Fouriertransformation berechnet. Es können jedoch auch andere mathematische Methoden angewendet werden, mit denen Wellenlänge und Phase der Unebenheiten berechnet werden können.

[0025] Wie oben ausgeführt worden ist, wird für jedes Extremum eine Extremmeßwertreihe bestimmt. In bevorzugter Weise wird die Bandkontur im Bereich des Extremums aus den Daten der Extremmeßwertreihe und mindestens einer weiteren benachbart angeordneten Meßwertreihe mittels arithmetischer Mittelung berechnet. Dadurch wird ebenfalls das Signal-zu-Rauschen Verhältnis verbessert. Insbesondere werden die beiden Meßwertreihen für die Auswertung verwendet, zwischen denen das berechnete Extremum liegt.

[0026] Weiterhin wird vorzugsweise die Berechnung der Bandlänge mit Hilfe der Formel

$$\left(\frac{\text{Amplitude} \cdot \pi}{\text{Wellenlänge}} \right)^2 \cdot 10^5$$

wobei Amplitude und Wellenlänge in der Einheit Meter eingesetzt werden, in Einheiten 1-Unit durchgeführt. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Unebenheiten des Materialbandes sinusförmig sind. Ebenso kann vereinfacht auch eine Dreiecksform als Näherung herangezogen werden, so daß die Bandlänge in einfacher Weise geometrisch bestimmt werden kann.

[0027] Für den Ablauf des Verfahrens wird eine Mehrzahl von Meßwertreihen benötigt, um die Wellenlänge und die Phase der Unebenheiten zu bestimmen. Daher ist es bevorzugt, daß zu Beginn der Messung Meßwertreihen für eine vorgegebene erste Bandlänge aufgenommen werden, bevor diese ein erstes Mal ausgewertet werden. Danach, also nach der ersten vorgegebenen Bandlänge, werden die Meßwerte für eine

kleinere zweite vorgegebene Bandlänge aufgenommen, bevor jeweils die zuletzt über eine ganze erste Bandlänge aufgenommenen Meßwerte ausgewertet werden. Mit anderen Worten werden immer Meßwertreihen, die über einen der ersten Bandlänge entsprechenden Abschnitt gesammelt worden sind, zur Bestimmung der Bandlänge ausgewertet.

[0028] Beispielsweise werden zunächst über 10 Meter Bandlänge Meßwerte in Abständen von jeweils 10 cm aufgenommen. Somit erhält man erste Auswertergebnisse nach den ersten 10 Metern. Danach werden weitere 2 Meter Bandlänge vermessen und die dann zuletzt gemessenen 10 Meter werden ausgewertet. Dadurch wird eine gleitende Mittelwertbildung innerhalb der Auswertergebnisse erreicht.

[0029] Das oben genannte technische Problem wird auch erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 13 gelöst, deren weitere Merkmale in den abhängigen Unteransprüchen enthalten sind. Diese werden anhand der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

[0030] Das technische Problem wird auch durch die Verwendung einer Vorrichtung zur Messung des Banddickenprofils eines Materialbandes zur Bestimmung der Planheit gelöst. Diese Vorrichtung weist mindestens zwei Strahlungsquellen, eine Mehrzahl von Detektoren und Mittel zur Auswertung der von den Detektoren aufgenommenen Meßwerten auf. Die Detektoren sind beabstandet zueinander und zu den Strahlungsquellen angeordnet, wobei das Materialband zwischen den Strahlungsquellen und den Detektoren angeordnet ist und relativ dazu in Längsrichtung bewegt wird. Die Detektoren erzeugen Meßwerte zu im Materialband angeordneten Meßpunkten und die Auswertemittel berechnen aus den Meßwerten die Steigungen in den Meßpunkten und daraus die Bandplanheit.

[0031] Somit ist es erstmals möglich, eine bisher lediglich für die Messung des Banddickenprofils vorhandene Vorrichtung auch für die Messung und Überprüfung der Planheit des Materialbandes zu verwenden. Daher wird der technische Aufwand insgesamt erheblich reduziert, da keine der zur Durchführung der oben genannten, aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren erforderlichen separaten Vorrichtungen notwendig ist. Da die Bestimmung der Planheit mit einer bereits vorhandenen Vorrichtung zur Messung des Banddickenprofils eines Materialbandes durchgeführt werden kann, ist die vorliegende Erfindung auch für eine Nachrüstung vorhandener Vorrichtungen einsetzbar. Denn das erfindungsgemäße Verfahren stellt im wesentlichen eine detaillierte Analyse der bisher gemessenen Meßwerte dar.

[0032] Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung in Bezug auf die Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Durchführung des

erfindungsgemäßen Verfahrens in einer schematischen Seitenansicht in Längsrichtung,

Fig. 2

die Vorrichtung nach Fig. 1 in einer schematischen Seitenansicht quer zur Längsrichtung,

Fig. 3a,b

den Strahlengang durch das Materialband in einer Ausschnittsvergrößerung aus Fig. 1 für verschiedene Steigungen des Materialbandes,

Fig. 4

eine zweidimensionale graphische Darstellung der Planheit eines Materialbandes,

Fig. 5a

eine graphische Darstellung des Verlaufes der Steigungen quer zur Längsrichtung und

Fig. 5b

eine graphische Darstellung der durch Aufsummieren der Steigungen berechneten Kontur.

Fig. 6

eine dreidimensionale Darstellung der Planheit eines Materialbandes, wobei die Amplituden der Extrema zur Verdeutlichung stark überhöht dargestellt sind.

[0033] In den Fig. 1 und 2 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung für die Bestimmung der Planheit eines Materialbandes 2 dargestellt. Die Vorrichtung umfaßt ein Gehäuse 4, das C-förmig ausgebildet ist und einen oberen Schenkel 6 und einen unteren Schenkel 8 aufweist. Im oberen Schenkel 6 sind zwei Strahlungsquellen 10 und 12 angeordnet, die quer zur Längsrichtung des Materialbandes beabstandet zueinander angeordnet sind. Die Längsrichtung verläuft in Fig. 1 senkrecht zur Zeichenebene und in Fig. 2 horizontal.

[0034] Die Strahlungsquellen 10 und 12 sind vorliegend als Röntgenquellen ausgebildet und strahlen Röntgenstrahlung unter einem vorgegebenen Winkel in Richtung des unteren Schenkels 8 aus. Es kann jedoch auch andere hochenergetische elektromagnetische Strahlung ausgesendet werden, insbesondere Gammastrahlung.

[0035] Eine Mehrzahl von Detektoren 14 und 16 ist im unteren Schenkel 8 quer zur Längsrichtung beabstandet zueinander und beabstandet zu den Strahlungsquellen 10 und 12 angeordnet. Jeweils zwei Detektoren 14'-16', 14"-16", ... sind dabei auf die beiden unterschiedlichen Strahlungsquellen 10 und 12 ausgerichtet sind und bilden jeweils ein Paar von Detektoren.

[0036] Bei einem weiteren, nicht in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiel werden drei Detektoren für die Meßwertaufnahme zu einem Meßpunkt verwendet. Damit wird eine höhere Redundanz in der Bestimmung der Steigung erreicht.

[0037] Die Detektoren 14 und 16 sind vorliegend Ionisationskammern, sie können jedoch beispielsweise auch in Form von Szintillationszählern, Zählrohren oder Halbleiterdetektoren ausgebildet sein. Sie messen die Intensität der durch das Materialband hindurchtretenden

den Strahlung, die ein Maß für die Länge des Durchtrittsweges der Strahlung durch das Materialband hindurch darstellt.

[0038] Das Materialband 2 ist zwischen dem oberen Schenkel 6 mit den Strahlungsquellen 10 und 12 und dem unteren Schenkel 8 mit den Detektoren 14 und 16 angeordnet. Dabei überschneiden sich die Achsen 18', 18'', ... und 20', 20'', ..., die jeweils von den Detektoren 14', 14'', ... und 16', 16'', ... eines Paares und den Strahlungsquellen 10 und 12 gebildet werden, im wesentlichen im Bereich des Materialbandes 2 und definieren somit den Meßpunkt 22 jedes Paares von Detektoren 14'-16', 14''-16'', Die beiden Detektoren eines Paares von Detektoren 14'-16', 14''-16'', ... erfassen somit jeweils unterschiedliche Raumwinkel. Dieses ist in Fig. 3 in einer Vergrößerung dargestellt.

[0039] Wie in Fig. 2 dargestellt ist, sind im Bereich des Gehäuses 4 Rollen 24 vorgesehen, die das durchlaufende Materialband unterstützen.

[0040] Weiterhin weist die Vorrichtung nicht in der Zeichnung dargestellte Mittel zur Auswertung der von den Detektoren 14 und 16 aufgenommenen Meßwerte auf, wobei die Auswertemittel, die vorzugsweise mindestens einen Rechner aufweisen, aus den Meßwerten die Steigung des Materialbandes 2 in den Meßpunkten 22 und daraus die Planheit des Materialbandes 2 berechnen, wie weiter unten beschrieben wird.

[0041] Bei der in den Fig. 1 und 2 dargestellten Vorrichtung sind die Detektoren 14 und 16 über im wesentlichen die gesamte Breite des Materialbandes 2 verteilt angeordnet. Somit wird bei der Auswertung der Meßwerte aller Detektoren die gesamte Breite des Materialbandes 2 erfaßt.

[0042] Die Genauigkeit des Verfahrens kann jedoch gesteigert werden, indem die Detektoren 14 und 16 während der Längsbewegung des Materialbandes zusätzlich quer zum Materialband 2 hin- und herbewegt werden, wozu nicht in der Zeichnung dargestellte Antriebsmittel vorgesehen sind. Die Amplitude der Hin- und Herbewegung liegt im Bereich des Abstandes zweier Detektoren 12 und 14 quer zur Längsrichtung des Materialbandes 2. Dadurch können auch sonst nicht erfaßte Bereiche zwischen jeweils zwei Detektoren 12 und 14 erfaßt werden.

[0043] Bei einer anderen, nicht in der Zeichnung dargestellten Ausführungsform decken die Detektoren 14 und 16 nur teilweise die Breite des Materialbandes 2 ab. Dabei sind Antriebsmittel zum Verstellen der Strahlungsquellen 10 und 12 und der Detektoren 14 und 16, also des Gehäuses 4, vorgesehen, wobei die Antriebsmittel während einer Meßreihe ein Verstellen im wesentlichen quer zur Längsrichtung bewirken. Somit wird mit einer geringeren Anzahl von Detektoren 14 und 16 die gesamte Breite des Materialbandes erfaßt, wobei jedoch zusätzlich der Aufwand der Querverstellung aufgewendet werden muß.

[0044] Die Mittel zur Auswertung der von den Detektoren 14 und 16 aufgenommenen Meßwerte sind

als eine Mehrzahl von Rechnern ausgebildet, wobei jeweils ein Rechner oder eine Gruppe von Rechnern die jeweiligen Auswertegrößen wie Banddicke, Bandbreite, Bandkontur und Planheit berechnen. Eine parallele Auswertung mit hoher Geschwindigkeit wird dadurch erzielt.

[0045] Das erfindungsgemäße Verfahren wird nun in folgender Weise mit Hilfe der zuvor beschriebenen Vorrichtung durchgeführt. An einer Mehrzahl von Meßpunkten 22 werden Meßwerte aufgenommen, wobei die Meßpunkte 22 quer zur Längsrichtung im Material des Materialbandes 2 beabstandet zueinander angeordnet sind. Das Materialband 2 wird relativ zu den Strahlungsquellen 10 und 12 und den Detektoren 14 und 16 in Längsrichtung bewegt und in vorgegebenen Abständen wird jeweils eine im wesentlichen alle Meßpunkte 22 umfassende Meßwertreihe 26 aufgenommen. Korrespondierende Meßpunkte 22 benachbarter Meßwertreihen 26 bilden dabei in Längsrichtung auf Planheit zu untersuchende Längsabschnitte des Materialbandes. Dadurch ergibt sich ein Raster an Meßpunkten 22, das sich über das Materialband 2 erstreckt, wie in den Fig. 4 und 6 dargestellt ist.

[0046] Für jeden erfaßten Meßpunkt 22 wird die Steigung des Materialbandes 2 aus den Meßwerten der Paare von Detektoren 14'-16', 14''-16'', ... berechnet. Wie in den Fig. 3a und 3b dargestellt ist, werden bei gleichen Raumwinkeln, die durch die Achsen 18' und 20' dargestellt sind, und bei unterschiedlichen Steigungen des Materialbandes 2 relativ zu diesen Raumwinkeln unterschiedliche Durchtrittslängen der Strahlung durch das Materialband 2 hervorgerufen.

[0047] Diese Durchtrittslängen sind als a,b bzw. a',b' mit den Pfeilen gekennzeichnet und führen zu unterschiedlichen Absorptionen innerhalb des Materialbandes 2, die sich in unterschiedlichen Meßwerten der Detektoren 14' und 16' ausdrücken. Aus den bekannten Raumwinkeln der Achsen 18' und 20' läßt sich dann einerseits die Dicke und andererseits die Steigung des Materialbandes 2 wie folgt berechnen.

[0048] Die beiden Detektoren 14 und 16 vermessen das Materialband 2 unter bekannten, voneinander abweichenden Raumwinkeln. Aus den von den Detektoren 14 und 16 aufgenommenen Meßwerten wird dann der Lagewinkel des Materialbandes, beispielsweise bezogen auf die Horizontale, mit Hilfe bekannter geometrischer Additionstheoreme berechnet. Aus dem Lagewinkel läßt sich die Steigung ableiten.

[0049] Für aufeinanderfolgende Meßwertreihen werden bei bekannter Relativgeschwindigkeit des Materialbandes 2 in Längsrichtung die Wellenlänge und die Phase der Änderungen der Steigungen mit Hilfe einer Fouriertransformation berechnet, wobei diese Änderungen die Planheit des Materialbandes 2 charakterisieren. Dieses ist schematisch in den Fig. 4 und 6 dargestellt, in denen ein Ausschnitt aus dem Materialband 2 dargestellt ist. Die Längsrichtung erstreckt sich in Fig. 4 senkrecht und die einzelnen Meßwertreihen 26

sind als horizontale Bereiche dargestellt. Diese Bereiche weisen einzelne unter bestimmten Winkeln ausgerichtete Linien auf, die die Steigungen der jeweiligen Meßpunkte 22 darstellen. Daraus ergibt sich ein charakteristisches Muster mit hellen und dunklen Bereichen, die erhabene und abgesenkte Abschnitte des Materialbandes 2 darstellen. Der Abstand jeweils zweier heller oder dunkler Bereiche in Fig. 4 ist ein Maß für die Wellenlänge der Unebenheiten.

[0050] In Fig. 6 dagegen erstreckt sich die Längsrichtung von links nach rechts und die unterschiedlichen Steigungen in den einzelnen Meßpunkten 22 sind in der dreidimensionalen Darstellung deutlich zu erkennen, ebenso wie die Extrema mit den zugeordneten Extremmeßwertreihen 28. Es wird hervorgerufen, daß die Darstellung insoweit stark schematisch ist, daß die Abfolge der Extrema in Form eines regelmäßigen Sinus dargestellt ist. Bei Materialbändern dagegen treten die durch eine Bandlängung hervorgerufenen Extrema unregelmäßig auf. Die Betrachtung als Sinuswelle ist daher eine stark vereinfachte Näherung.

[0051] Aus der Wellenlänge und der Phase werden mindestens ein Extremum und die jeweils dazugehörige nächstliegende Extremmeßwertreihe 28 berechnet. Die Extremmeßwertreihe 28 zeichnet sich dann dadurch aus, daß die Steigungswerte im wesentlichen nur eine Querkomponente aufweisen und somit direkt zur Berechnung der Querkontur herangezogen werden können. Somit hat im wesentlichen eine Trennung von Längs- und Querkomponenten stattgefunden. Eine Folge von Steigungswerten quer zur Längsrichtung ist in Fig. 5a als Einhüllende 30 der Fläche dargestellt.

[0052] Aus der Querkontur wird dann die Amplitude der Unebenheit für jeden Meßpunkt 22 bestimmt. Schließlich ergibt sich aus der Wellenlänge und der Amplitude die Bandlängung für jeden Längsabschnitt des Materialbandes.

[0053] Zur Erhöhung der Auswertegenauigkeit kann jeweils eine Mehrzahl von Meßpunkten zu Meßkanälen zusammengefaßt werden, für die dann jeweils eine Bandlängung in der zuvor beschriebenen Weise berechnet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Planheit eines Materialbandes, wobei das Materialband eine Längsrichtung vorgibt,

- bei dem mit Hilfe von mindestens zwei Strahlungsquellen und einer Mehrzahl von Detektoren an einer Mehrzahl von Meßpunkten Meßwerte aufgenommen werden, wobei die Meßpunkte quer zur Längsrichtung im Material des Bandes beabstandet zueinander angeordnet sind und von mindestens zwei Detektoren erfaßt werden, die jeweils Strahlung unter verschiedenen Raumwinkeln detektieren,

- bei dem das Materialband relativ zu den Strahlungsquellen und den Detektoren in Längsrichtung bewegt wird und in vorgegebenen Abständen jeweils eine im wesentlichen alle Meßpunkte umfassende Meßwertreihe aufgenommen wird,
- bei dem für jeden erfaßten Meßpunkt die Steigung des Materialbandes aus den Meßwerten der Paare von Detektoren berechnet wird,
- bei dem für aufeinanderfolgende Meßwertreihen bei bekannter Relativgeschwindigkeit in Längsrichtung die Wellenlänge und die Phase der Änderungen der Steigungen berechnet werden,
- bei dem aus der Wellenlänge und der Phase mindestens ein Extremum und die jeweils dazugehörige nächstliegende Extremmeßwertreihe berechnet werden,
- bei dem die Querkontur durch Aufsummieren der Steigungswerte der Extremmeßwertreihe berechnet wird, wobei die Amplitude der Querkontur bestimmt wird, und
- bei dem aus der Wellenlänge und der Amplitude der Kontur die Bandlängung berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Detektoren die durch das Materialband abgeschwächte Intensität der Strahlung messen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Meßpunkte im wesentlichen die gesamte Breite des Materialbandes abdecken.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Meßpunkte in Meßkanäle von jeweils mindestens zwei Meßpunkten zusammengefaßt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Meßkanäle jeweils im wesentlichen dieselbe Anzahl von Meßpunkten umfassen.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, bei dem für jeden Meßkanal die Werte der Steigungen ermittelt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, bei dem für jeden Meßkanal eine Bandlängung berechnet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem mit Hilfe einer Fouriertransformation die Wellenlänge und die Phase der Planheit berechnet wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Kontur des Materialbandes im Bereich des

Extremums aus den Daten der Extremmeßwertreihe und mindestens einer weiteren Meßwertreihe berechnet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die Berechnung der Bandlänge mit Hilfe der Formel

$$\left(\frac{\text{Amplitude} \cdot \pi}{\text{Wellenlänge}} \right)^2 \cdot 10^5$$

* in Einheiten I-Unit durchgeführt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem zu Beginn für eine erste vorgegebene Bandlänge Meßwerte aufgenommen werden, bevor diese ausgewertet werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem nach der ersten vorgegebenen Bandlänge die Meßwerte für eine kleinere zweite vorgegebene Bandlänge aufgenommen werden, bevor jeweils die zuletzt über eine ganze erste Bandlänge aufgenommenen Meßwerte ausgewertet werden.
13. Vorrichtung zur Bestimmung der Planheit eines Materialbandes, wobei das Materialband (2) eine Längsrichtung vorgibt,
- mit mindestens zwei Strahlungsquellen (10, 12), die quer zur Längsrichtung beabstandet zueinander angeordnet sind,
 - mit einer Mehrzahl von Detektoren (14, 16), die quer zur Längsrichtung beabstandet zueinander und beabstandet zu den Strahlungsquellen (10, 12) angeordnet sind, wobei das Materialband (2) zwischen den Strahlungsquellen (10, 12) und den Detektoren (14, 16) angeordnet wird, und
 - mit Mitteln zur Auswertung der von den Detektoren (14, 16) aufgenommenen Meßwerte,
 - wobei jeweils mindestens zwei Detektoren (14, 16) auf zwei unterschiedliche Strahlungsquellen (10, 12) ausgerichtet sind und ein Paar von Detektoren bilden und
 - wobei sich die jeweils von den Detektoren (14, 16) eines Paares und den Strahlungsquellen (10, 12) gebildeten Achsen im wesentlichen im Bereich des Materialbandes überschneiden und somit einen Meßpunkt (22) vorgeben, **dadurch gekennzeichnet,**
 - daß die Auswertemittel aus den Meßwerten die Steigung des Materialbandes in den Meßpunkten (22) und daraus die Planheit des Materialbandes berechnen.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlungsquellen (10, 12) hochenergetische elektromagnetische Strahlung aussenden, insbesondere Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung.

15. Vorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren (14, 16) als Ionisationskammern, Szintillationszähler, Zählrohr oder Halbleiterdetektor ausgebildet sind.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Detektoren (14, 16) über im wesentlichen die gesamte Breite des Materialbandes (2) verteilt angeordnet sind.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß Verstellmittel zum Verstellen der Detektoren (12, 14) quer zur Längsrichtung des Materialbandes (2) vorgesehen sind.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Detektoren (14, 16) teilweise die Breite des Materialbandes (2) abdecken und daß Antriebsmittel zum Verstellen der Strahlungsquellen (10, 12) und der Detektoren (14, 16) vorgesehen sind, wobei die Antriebsmittel während einer Meßreihe ein Verstellen im wesentlichen quer zur Längsrichtung bewirken.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertemittel als Mehrzahl von Rechnern ausgebildet sind, wobei jeweils ein Rechner oder eine Gruppe von Rechnern die jeweiligen Auswertegrößen zumindest teilweise parallel berechnen.

20. Verwendung einer Vorrichtung zur Messung des Banddickenprofils eines Materialbandes zur Bestimmung der Planheit,

- wobei die Vorrichtung

- mindestens zwei Strahlungsquellen,
- eine Mehrzahl von Detektoren, die beabstandet zueinander und zu den Strahlungsquellen angeordnet sind, wobei das Materialband zwischen den Strahlungsquellen und den Detektoren angeordnet ist und relativ dazu in Längsrichtung bewegt wird, und
- Mittel zur Auswertung der von den Detektoren aufgenommenen Meßwerten aufweist,
- wobei die Detektoren Meßwerte zu im Materialband angeordneten Meßpunkten erzeugen und

- wobei die Auswertemittel aus den Meßwerten die Steigungen in den Meßpunkten und daraus die Planheit des Materialbandes berechnen.

5

10

15

20

25

30

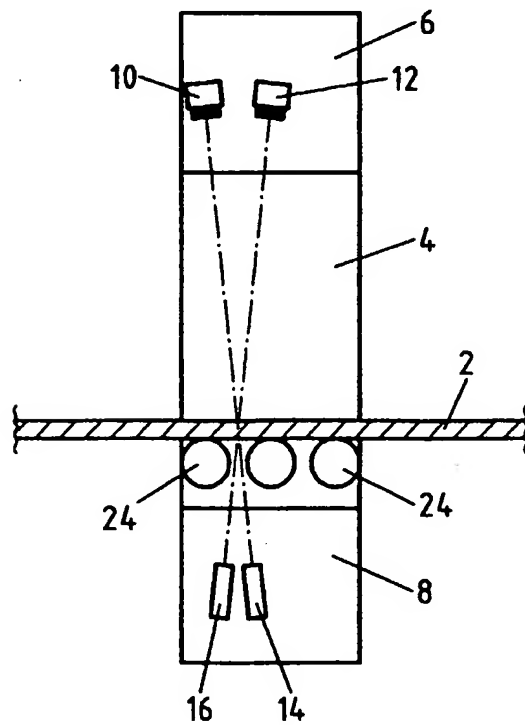
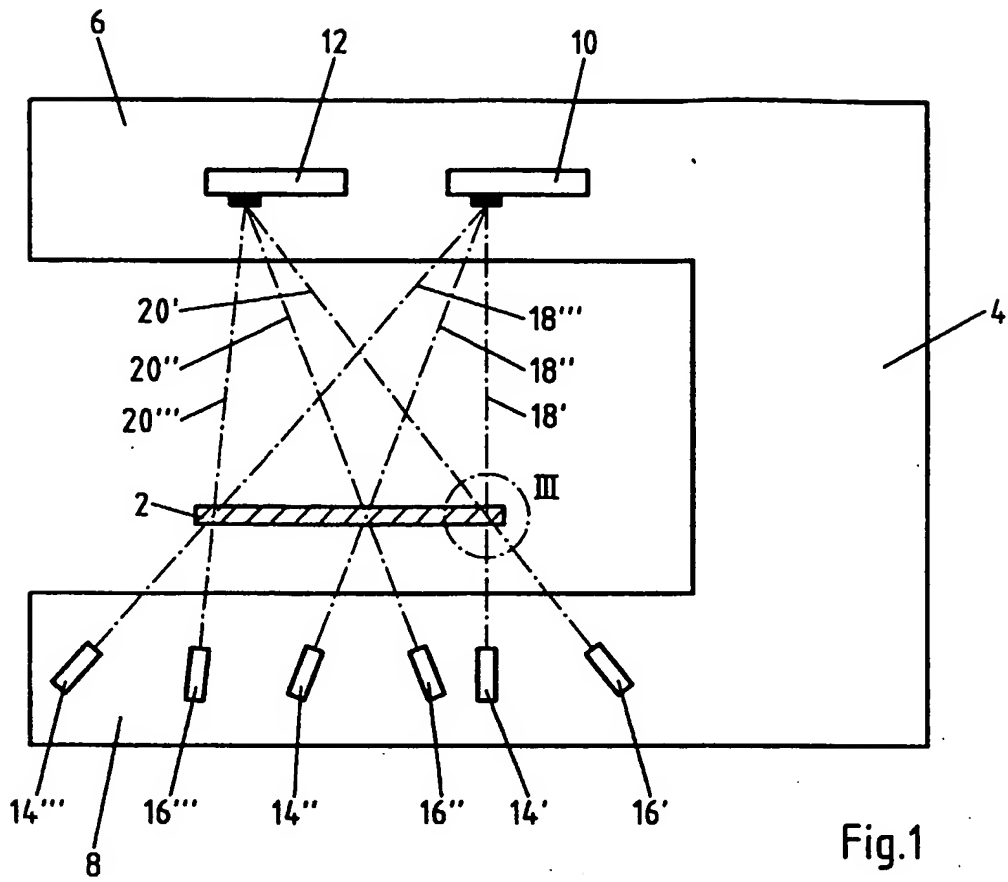
35

40

45

50

55



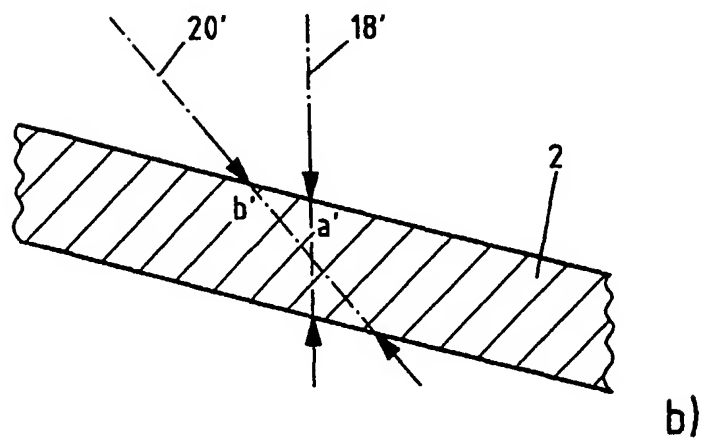
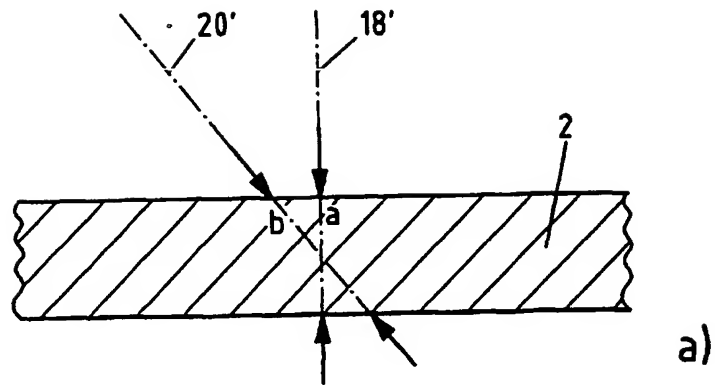


Fig.3

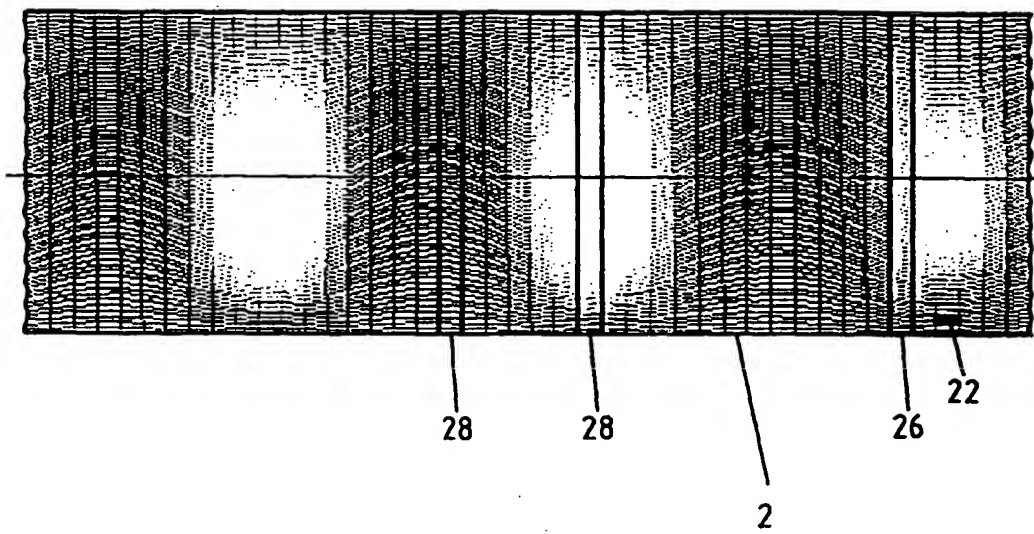
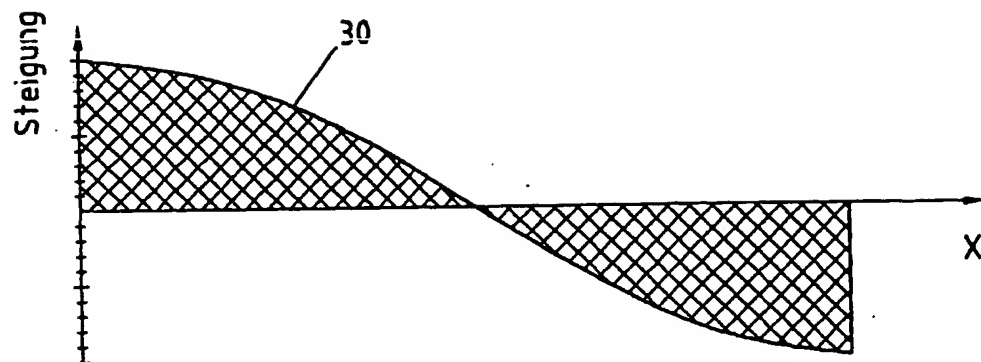
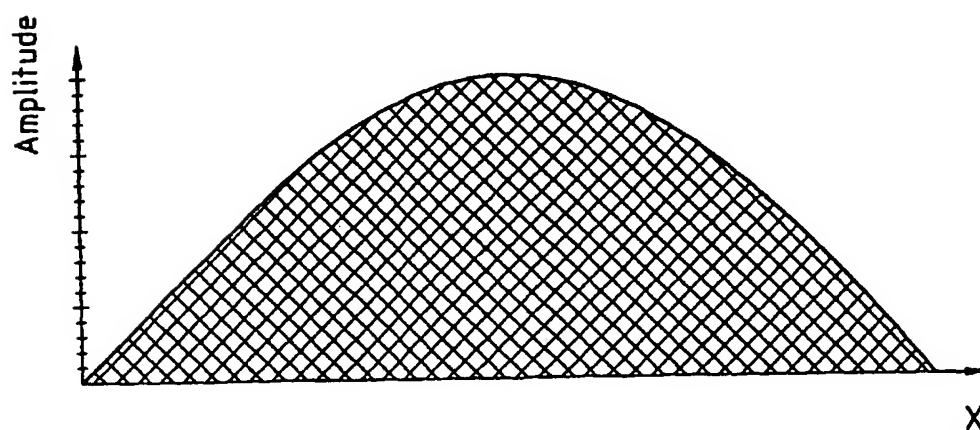


Fig.4



a)



b)

Fig.5

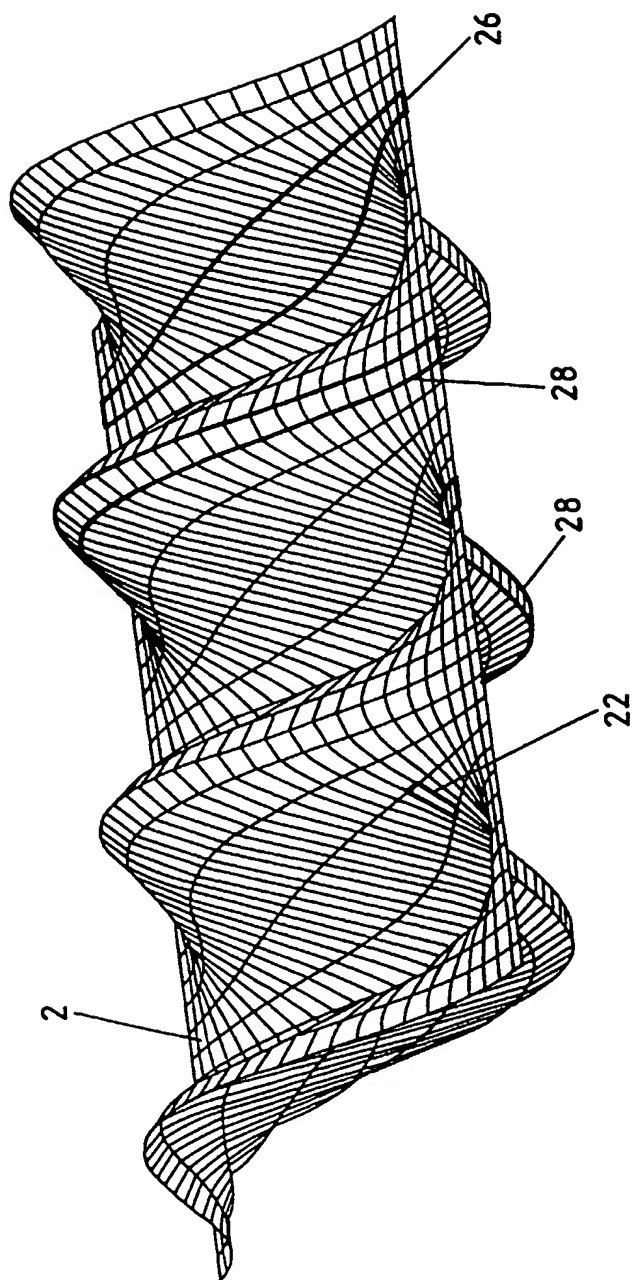


Fig.6

THIS PAGE BLANK (USPTO)